

## ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 504.055;539.16(045)

Т.М. Голяткіна, асист.

О.М. Тихенко, асп.

В.М. Криворотько, канд. техн. наук, доц.

Ю.О. Кутлахмедов, д-р біол. наук, проф.

### ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗБИТКІВ УНАСЛІДОК АВАРІЇ НА РАДІОНУКЛІДНОМУ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОМУ ГЕНЕРАТОРІ

*Наведено результати моделювання гіпотетичної аварійної ситуації на радіонуклідному термоелектричному генераторі. Для аналізу та моделювання використано метод камерних моделей, оцінено динаміку поведінки та міграції потоків радіонуклідів в екосистемі протягом одного року після аварії, розраховано екологічний збиток.*

*Modeling results of hypothetic emergency situation on radionuclides thermoelectrical generator are presented. The box model method was used. The dynamics of behavior and migration for radionuclides flows in ecosystem during one year after the accident were assessed. Ecological damage was calculated.*

#### Вступ

Україна належить до держав з розвинутим використанням джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ) у всіх галузях господарчої та наукової діяльності. Близько 8000 підприємств та організацій використовують понад 100 000 ДІВ із середньорічною активністю 320 000 кг – еквіваленту радію в закритому вигляді [1].

Одним із ДІВ є радіонуклідні енергетичні установки, в яких відбувається пряме перетворення теплової енергії радіоактивного розпаду в електричну енергію. Радіонуклідні термоелектричні генератори (РіТЕГ) мають суттєві переваги перед іншими автономними джерелами електричної енергії: високу питому енергоємність, тривалий термін придатності (понад 10 років), високу надійність. Вони можуть зберігати дієздатність у разі тривалого короткого замикання в колі живлення. Ці переваги особливо значущі для експлуатації енергоспоживаної апаратури у важкодоступних районах. Радіонуклідні термоелектричні генератори набули широкого застосування для енергозабезпечення автоматичних гідрометеорологічних станцій та як джерела живлення засобів навігації – морських світлових і радіомаяків.

Як основний вид палива для РіТЕГ найчастіше використовують радіоактивний нуклід Sr-90.

Під час реакції розпаду радіоізоотопу Sr-90 утворюються бета-частинки. Під час проходження через речовину бета-частинки гальмуються, їх кінетична енергія переходить в теплову і за допомогою термоелектричного перетворювача – в електричну. Через гальмування бета-частинок виникає гальмівне (фотонне) гамма-випромінювання з безперервним енергетичним спектром,

яке впливає на живі організми. У РіТЕГ це випромінювання обмежено спеціальним захистом і рівень гамма-фону на його поверхні не перевищує допустиму величину, встановлену нормами радіаційної безпеки. Радіоізоотопне джерело тепла на основі Sr-90 містить активну частину у вигляді однієї чи декількох компактних, високощільних, міцних, нерозчинних у морській та прісній воді паливних таблеток та капсули, що забезпечують надійну герметизацію активної частини радіоізоотопного джерела тепла, і запобігають поширенню радіоактивної речовини в навколишнє середовище під час транспортування, зберігання і експлуатації РіТЕГ. Капсула циліндричної форми виготовляється з корозієстійкої та жароміцної сталі.

#### Постановка завдання

Ураховуючи, що РіТЕГ – потенційно небезпечні об'єкти у випадку аварії, на яких може відбутися радіоактивне забруднення довкілля, потрібно моделювати аварійні ситуації для прогнозу можливих наслідків, оцінювання екологічних збитків і своєчасного застосування контрзаходів.

#### Моделювання аварійної ситуації

Для моделювання гіпотетичної аварійної ситуації РіТЕГ маяка на мисі Тарханкут (Чорне море), яка супроводжується частковим викидом Sr-90 в навколишнє середовище, сформуємо блок-схему камерної моделі для вибраної локальної екосистеми мису Тарханкут. Під час моделювання забруднення радіонуклідами об'єктів навколишнього середовища був використаний метод камерних моделей, в основі якого лежить опис

екологічної системи у вигляді достатньо спрощеної блок-схеми, що складається з багатьох камер [2; 3]. Потoki полютантів між камерами задаються за допомогою коефіцієнтів, які характеризують швидкість переходу радіонуклідів з однієї камери до іншої (рис. 1).

Математично камерну модель потоків радіонуклідів екосистеми мису Тарханкут подано у вигляді системи звичайних диференціальних рівнянь. Кількість рівнянь дорівнює кількості камер у моделі:

- 1)  $\frac{dx(t)}{dt} = -a_{12}x(t)$ ;
- 2)  $\frac{dy(t)}{dt} = a_{12}x(t) - (a_{25} + a_{24} + a_{23} + a_{210})y(t)$ ;
- 3)  $\frac{dz(t)}{dt} = a_{23}y(t) + a_{63}n(t) + a_{73}m(t) - a_{36}z(t)$ ;
- 4)  $\frac{dk(t)}{dt} = a_{24}y(t) + a_{74}m(t) - a_{47}k(t)$ ;
- 5)  $\frac{dl(t)}{dt} = a_{25}y(t) - (a_{58} + a_{59})l(t)$ ;
- 6)  $\frac{dn(t)}{dt} = a_{36}z(t) - (a_{63} + a_{67} + a_{610})n(t)$ ;
- 7)  $\frac{dm(t)}{dt} = a_{47}k(t) + a_{67}n(t) - (a_{73} + a_{74} + a_{710})m(t)$ ;
- 8)  $\frac{dp(t)}{dt} = a_{58}l(t) - a_{810}p(t)$ ;
- 9)  $\frac{dr(t)}{dt} = a_{59}l(t) - a_{910}r(t)$ ;

$$10) \frac{ds(t)}{dt} = a_{610}n(t) + a_{210}y(t) + a_{710}m(t) + a_{810}p(t) + a_{910}r(t) - a_{1011}s(t).$$

Вирішення цієї системи дозволяє описати поведінку та динаміку кількості радіонуклідів у кожній із камер моделі. Спираючись на оцінки параметрів швидкості переносу радіонуклідів, створили таблицю.

**Значення параметрів перенесення радіонуклідів між камерами**

Параметр	Значення, %		
	мінімальне	максимальне	середнє
$a_{12}$	0,2	0,3	0,25
$a_{23}$	0,03	0,07	0,05
$a_{24}$	0,02	0,06	0,04
$a_{25}$	0,02	0,04	0,03
$a_{210}$	0,01	0,02	0,015
$a_{36}$	0,03	0,07	0,05
$a_{47}$	0,02	0,03	0,025
$a_{74}$	0,01	0,02	0,015
$a_{73}$	0,03	0,05	0,04
$a_{710}$	0,04	0,08	0,06
$a_{63}$	0,01	0,03	0,02
$a_{610}$	0,1	0,3	0,2
$a_{67}$	0,6	0,4	0,5
$a_{56}$	0,1	0,3	0,2
$a_{59}$	0,4	0,2	0,3
$a_{810}$	0,2	0,4	0,3
$a_{910}$	0,01	0,03	0,02
$a_{1011}$	0,05	0,1	0,15

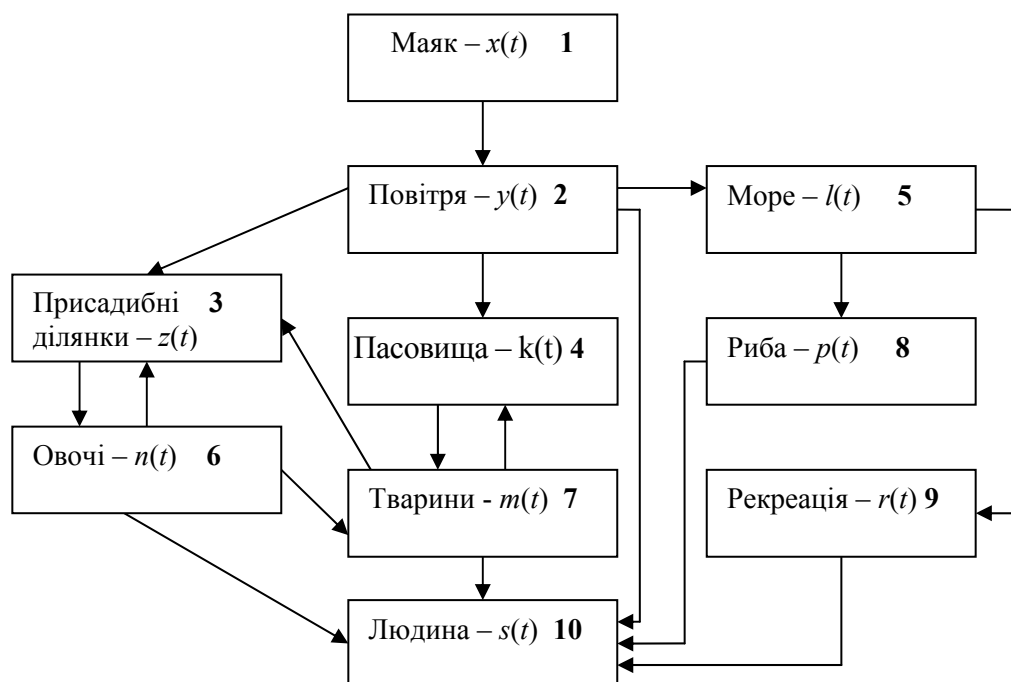


Рис. 1. Камерна модель потоків радіонуклідів екосистеми мису Тарханкут: 1–10 – номер камери

Оцінка значень параметрів переносу радіонуклідів між камерами була проведена за даними натурних вимірів та експертних розрахунків.

Для розрахунків припускаємо, що початкова активність джерела становила 30 кКі за Sr-90, а внаслідок аварії назовні надійшло 4 %, тобто 6 кКі. На місі працює і проживає 2000 осіб.

Параметри для моделювання вибрано на основі літературних даних та експертних оцінок [4; 5].

Методом математичного моделювання за допомогою програмного продукту Maple-7 були отримані результати, які дозволили спрогнозувати динаміку поведінки та міграції потоків радіонуклідів у вибраній екосистемі мису Тарханкут протягом одного року після аварії на радіонуклідному термоелектричному генераторі (рис. 2).

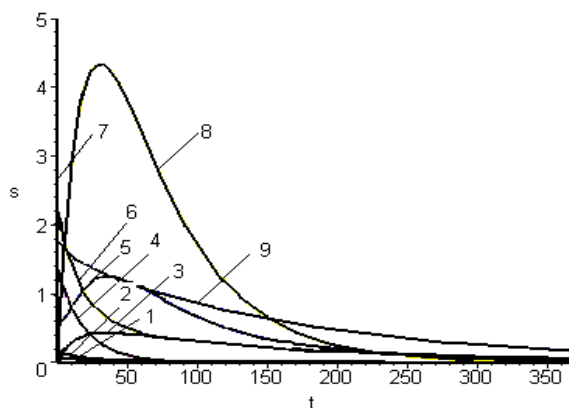


Рис. 2. Динаміка рівнів забруднення різних складових екосистеми мису Тарханкут:

- 1 – риба;
- 2 – овочі;
- 3 – тварини;
- 4 – пасовище (трав);
- 5 – людина;
- 6 – атмосфера;
- 7 – маяк;
- 8 – рекреація;
- 9 – море;
- s – активність, кКі;

t – дні після аварії на РіТЕГ

Надходження в навколишнє середовище радіонуклідів Sr-90 загальною активністю 6 кКі триватиме понад 2 год з моменту аварії, а осадження – понад 4 год. На присадибні ділянки може осідати Sr-90 активністю близько 2,25 кКі. На пасовищах максимальна активність Sr-90 може становити 1,8 кКі, а в морі – 1,3 кКі. Максимальна активність Sr-90 в овочах припадає на 10-ту добу і становитиме 0,13 кКі. В організмі тварин накопичиться Sr-90 загальною активністю 0,45 кКі. Максимальною вона буде на 20 – 25-ту добу після аварії. До організму людини надійде Sr-90 активністю близько 1,5 кКі. Найбільше значення активності 4,5 кКі можна спостерігати в камері рекреації, оскільки вона має сезонне явище і включає в себе відпочинок на узбережжі та споживання забруднених продуктів харчування як плодовоовочевих, так і рибних.

Для оцінювання загальної небезпеки радіоекологічної ситуації в цьому районі потрібно розрахувати еквівалентну колективну дозу, яка становить 1185 люд.-Зв, тобто індивідуальна еквівалентна доза опромінення приблизно дорівнює 0,59 Зв/р., або 59 бер/р. За такої дози поступово розвивається деяке пригнічення секреторних функцій і ферментативної активності секрету травних залоз, зміни моторики шлунка і кишок. Можуть спостерігатися також реакції нейровісцерального характеру [5]. Отже, у випадку аварії потрібно приймати рішення про евакуацію населення та персоналу з мису, тобто екосистем цього типу.

Ефективний період напіввиведення радіонуклідів Sr-90 з тіла людини становить  $1,8 \cdot 10^4$  днів. Залежно від форми хімічної сполуки стронцій із різною швидкістю всмоктується з травного каналу і легень. Згодом понад 90% стронцію, що потрапив в організм людини, депонується в кістках і кістковому мозку.

Відповідно до Закону України «Про радіаційну безпеку населення України» ціну 1/люд.-Зв визначено сумою 20 тис. грн. Тобто екологічний збиток, що може бути завданий цією аварією, оцінюється сумою понад 4 млн. дол. США. Така вартість повністю виправдовує всі витрати на запобіжні заходи щодо захисту населення та персоналу в умовах розміщення таких джерел, як РіТЕГ.

## Висновки

Отримані результати свідчать про потребу в моделюванні гіпотетичних аварійних ситуацій для прогнозу наслідків їх впливу на навколишнє середовище та людей, а також для своєчасного застосування певних контрзаходів з метою забезпечення достатнього рівня екологічної безпеки екологічних систем. Такими контрзаходами можуть бути ретельний контроль та моніторинг стану РіТЕГ та його робочого режиму для попередження викиду Sr-90, використання засобів індивідуального захисту, створення системи вентиляції через радіонуклідовловлювальні фільтри.

## Література

1. Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А. Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище: Навч. посіб. – Миколаїв: МДГУ ім. Петра Могили, 2005. – 172 с.
2. Голяtkіна Т.М., Тихенко О.М., Криворотько В.М., Кутлахмедов Ю.О. Застосування методу камерних моделей оцінки екологічної безпеки при аваріях на радіаційних джерелах // Вісн. НАУ. – 2005. – №4. – С. 138 – 140.
3. Голяtkіна Т.М., Тихенко О.М., Криворотько В.М. Оцінка екологічного ризику на радіоактивно забруднених територіях // Вісн. НАУ. – 2006. – №2. – С. 129 – 130.
4. Беляев С.Т. Радиоактивные выбросы в биосфере. – М.: Атомиздат, 1991. – 237 с.
5. Кутлахмедов Ю.О., Корогодін В.І., Кольтовер В.К. Основи радіоекології. – К.: Вища шк., 2003. – 319 с.

Стаття надійшла до редакції 05.09.07.